

---

## **STANDORTABHÄNGIGE DAUERHAFTIGKEITSBETRACHTUNGEN VON ZINK UNTER ATMOSPHERISCHER KORROSION**

Gino Ebell, Andreas Burkert, Martin Babutzka

*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)*

*Fachbereich 7.6 Korrosion und Korrosionsschutz*

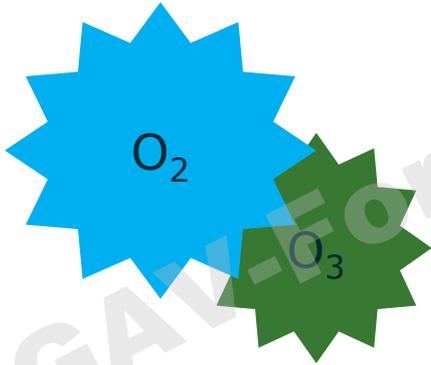
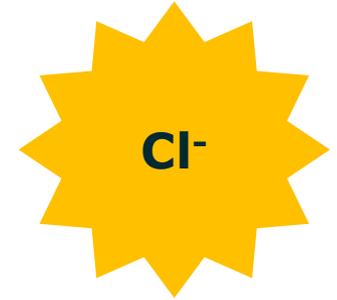
*17. Oktober 2023, GAV-FORSCHUNGKOLLOQUIUM 2023*

- Ermittlung standortabhängiger Korrosionsraten, basierend auf aktuellen atmosphärischen Expositionen
- Normative Regelungen basieren auf historischen Werten und spiegeln nicht zwingend die aktuelle Korrosionsbelastung wider
- Zusammenhang von Korrosionsraten und Deckschichtbildung

## **Zielsetzung:**

**Standortabhängige Ergebnisse für Zink über einen Zeitraum von 5 Jahren  
und  
Prognose für längere Betrachtungszeiträume**

# Maßgebende Atmosphärenparameter



## **zunehmender Einfluss weiterer Faktoren in wissenschaftlicher Literatur vermutet:**

- Stickoxide (Bildung von korrosivem, gasförmigem  $\text{HNO}_3$ )
- $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft (positiv für Deckschichtbildung)
- Niederschläge (pH-Wert-Änderung von 5 zu 6)
- Ozon  $\text{O}_3$  (stärkeres Oxidationsmittel als  $\text{O}_2$ )
- ...

pH-Wert 1964 ca. 4

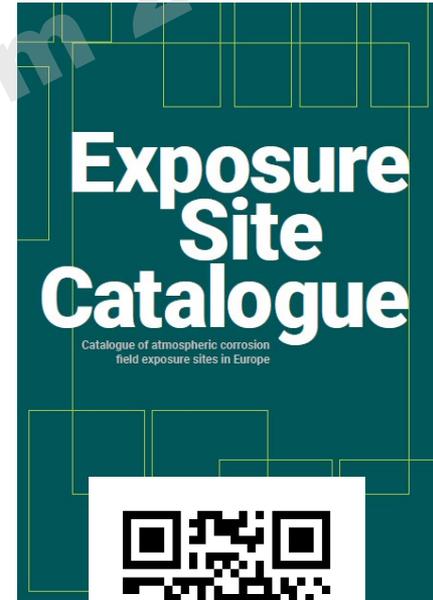
# Bewitterungsstände des Fachbereichs 7.6



Standorte der 5-Jahreskampagne:

- Berlin A103 (städtisch/Straße)
- Berlin B1 (städtisch/Straße)
- Berlin BAM (städtisch)
- Helgoland (maritim)
- Horstwalde (ländlich)

*Messkampagne: 2016 - 2021*



# Atmosphärische Exposition

## Wie wir es machen ...

Prüfkörper nach DIN EN ISO 9226:

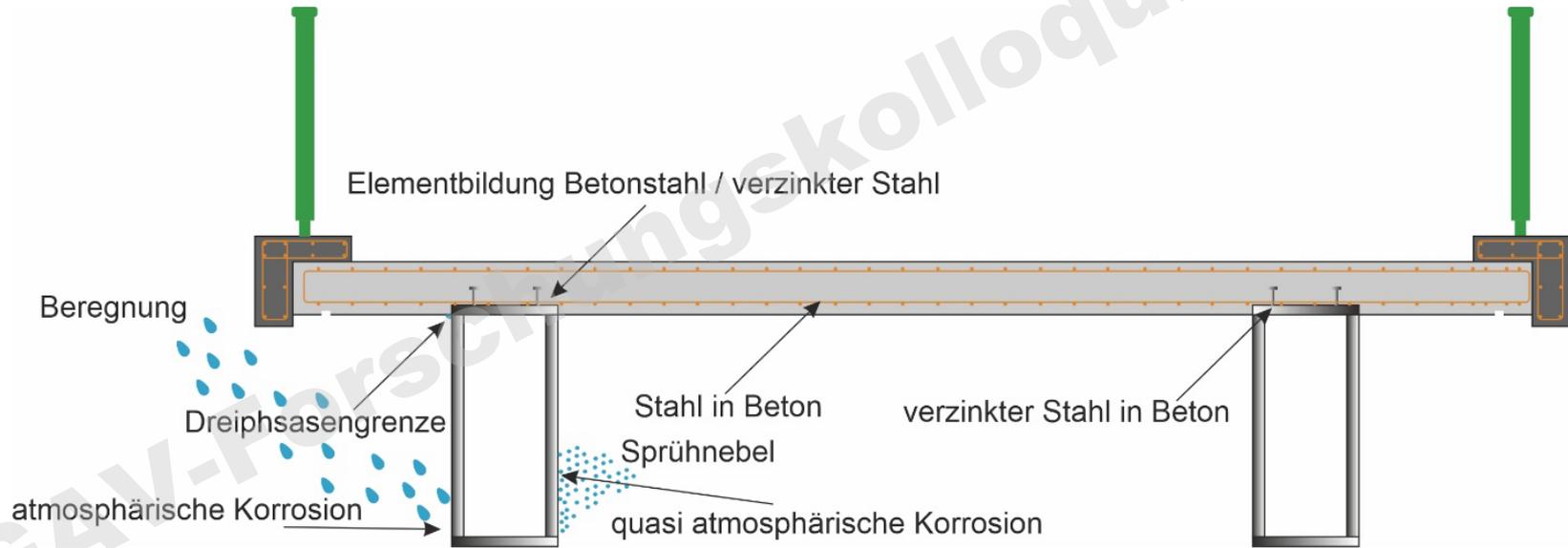
- 150 x 100 x 1 mm
- unlegierter Stahl (Cu 0,03 – 0,1 %, P < 0,07 %)
- Zink (> 98,5%)
- Kupfer (> 99,5%)
- Aluminium (> 99,5%)

Bestimmung der Korrosivität erfolgt nach einem Jahr Auslagerung durch Bestimmung des Masseverlustes

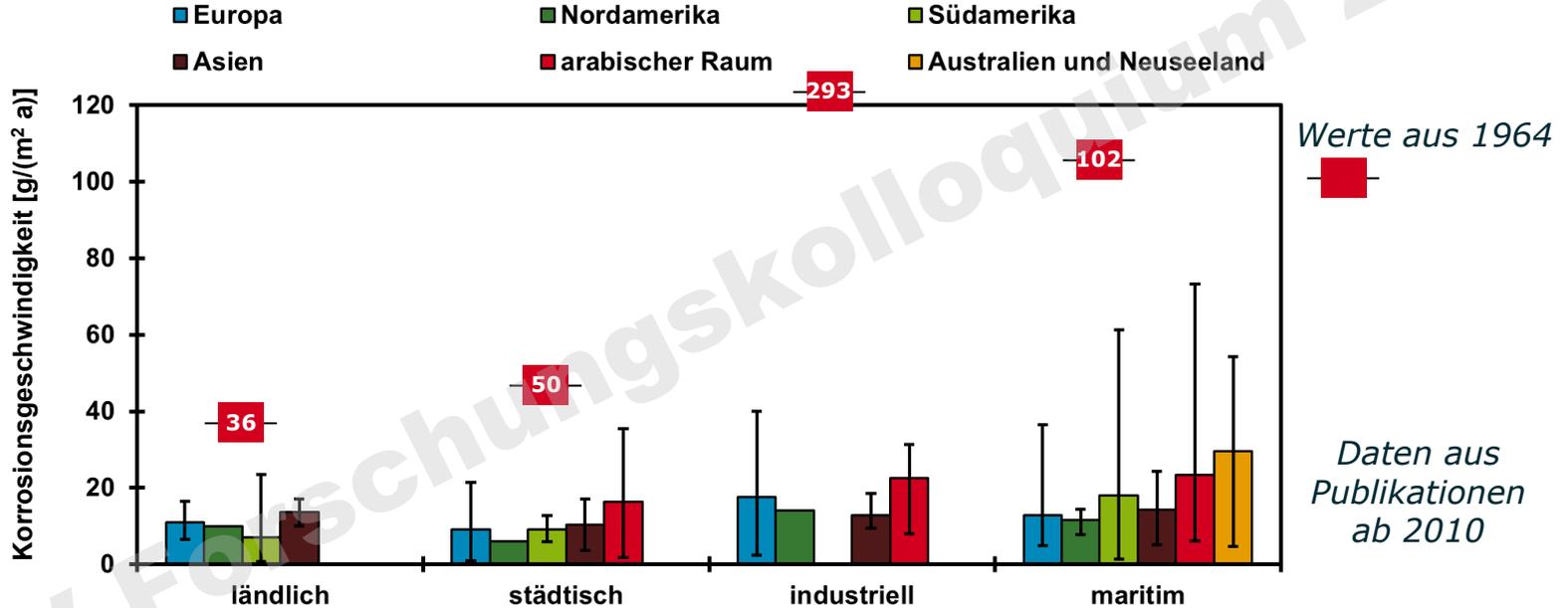


# Variation in der atmosphärischen Einwirkung

-Brückenbauteil mit feuerverzinkten Stahlträgern



# Korrosionsgeschwindigkeit von Zink nach 1 Jahr an der Atmosphäre: damals und heute



durch Rückgang des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes hat maritime Atmosphäre den signifikantesten Einfluss auf Korrosionsgeschwindigkeit im 1. Jahr → Korrosivitätskategorien?

# Was dabei raus kommt...

| Standort<br>Atmosphärentyp      | Korrosivitätskategorie<br>freie Bewitterung | Korrosivitätskategorie<br>überdacht/eingehaust |
|---------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Horstwalde<br>ländlich          | C2                                          | (C2)                                           |
| Berlin, Dach<br>städtisch       | C3                                          | (C2)                                           |
| Berlin B1<br>städtisch/Straße   | C2                                          | (C1)                                           |
| Berlin A103<br>städtisch/Straße | C2                                          | (C2)                                           |
| Helgoland<br>maritim            | C4                                          | (C3)                                           |



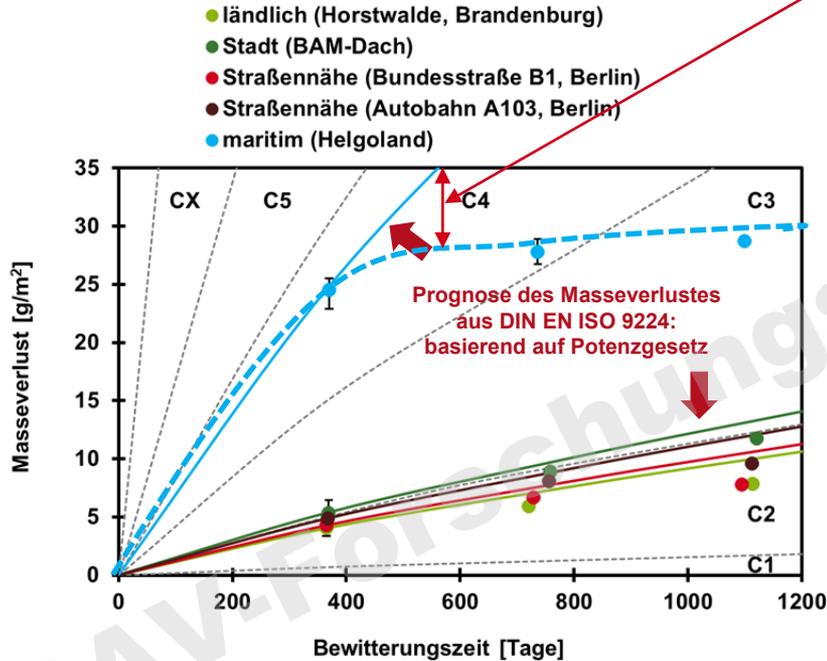
| Kategorie | Korrosivität |
|-----------|--------------|
| C1        | unbedeutend  |
| C2        | gering       |
| C3        | mäßig        |
| C4        | stark        |
| C5        | sehr stark   |
| CX        | extrem       |

Für Zink ermittelte Korrosivitätskategorien nach dem 1. Jahr

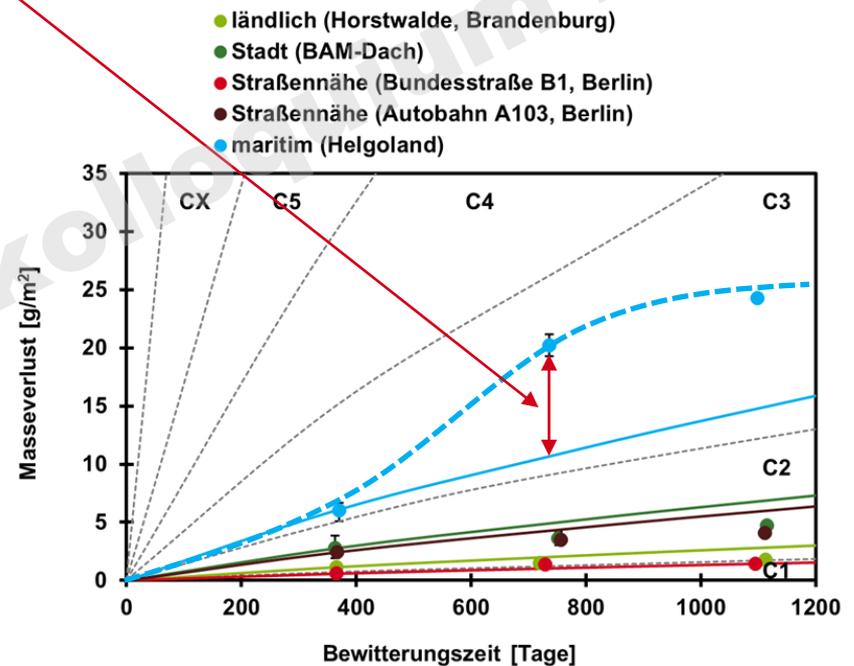
Korrosivitätskategorien nach DIN EN ISO 9223

# Untersuchung des Korrosionsfortschritts in Abhängigkeit der atmosphärischen Exposition

Diskrepanz zwischen Prognose nach DIN EN ISO 9224 und ermittelten Masseverlusten



frei bewittert

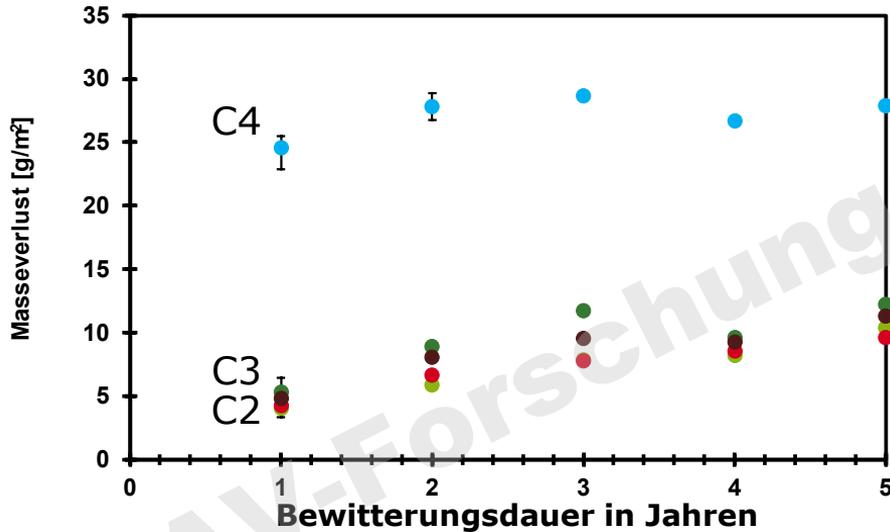


eingehaust

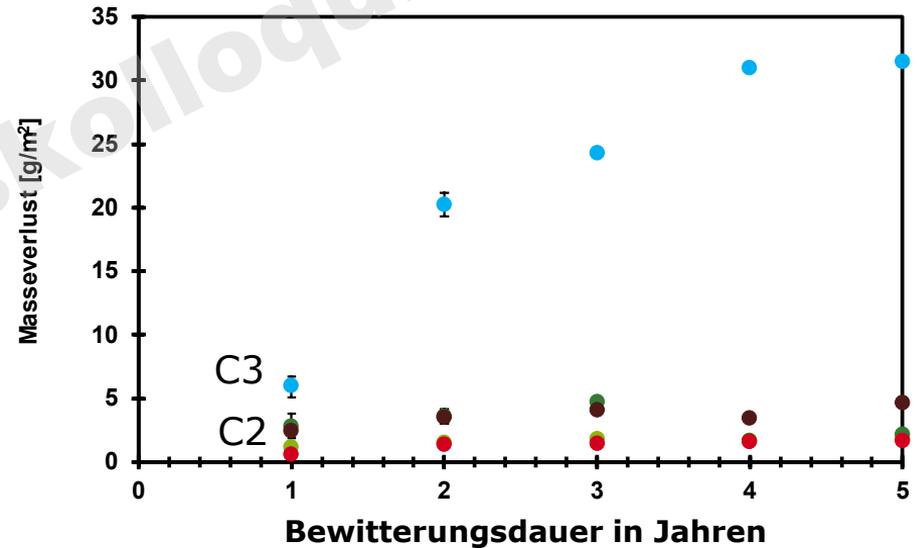
# ... wenn man es weiter beobachtet

Entwicklung der Masseverluste von Zink über 5 Jahre

- ländlich (Horstwalde, Brandenburg)
- Stadt (BAM-Dach)
- Straßennähe (Bundesstraße B1, Berlin)
- Straßennähe (Autobahn A103, Berlin)
- maritim (Helgoland)



**frei bewittert**



**eingehaust**

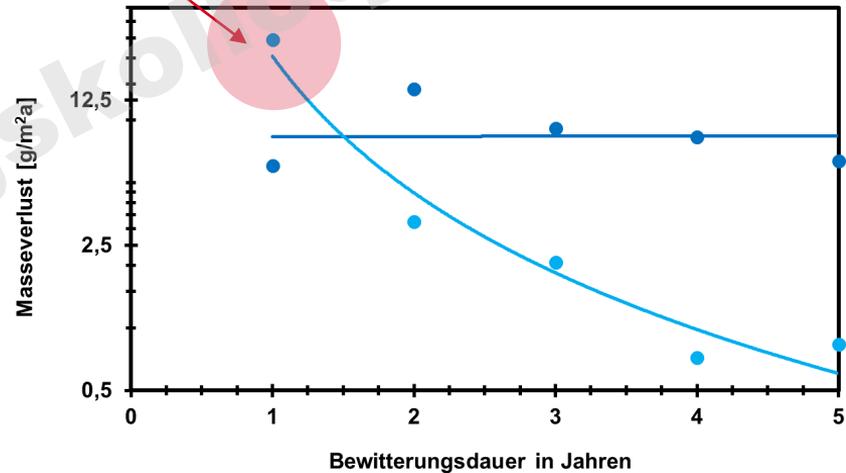
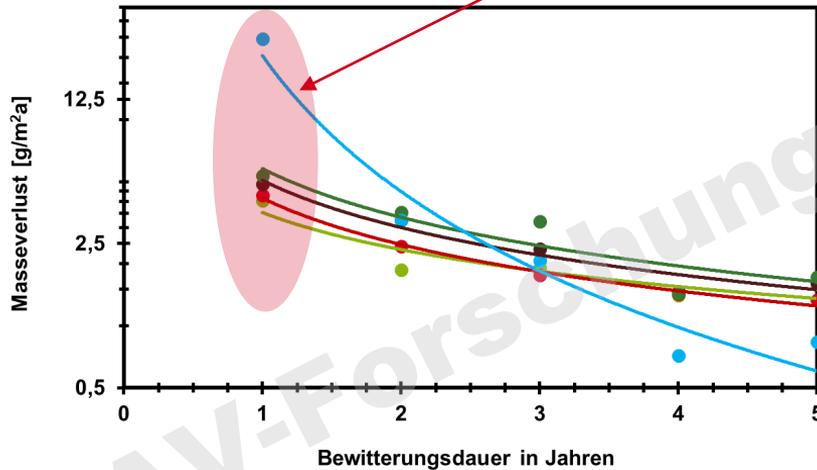
# ... wenn man es anders darstellt

Die Deckschichtbildung ist maßgebend für den höheren Masseverlust im ersten Jahr der Auslagerung

$$M_n = \frac{M_n - M_1}{n - 1}$$

- ländlich (Horstwalde, Brandenburg)
- Straßennähe (Bundesstraße B1, Berlin)
- Straßennähe (Autobahn A103, Berlin)
- Stadt (BAM-Dach)
- maritim (Helgoland)

- maritim (Helgoland) eingehaust
- maritim (Helgoland) frei bewittert



## Entwicklung der Korrosionsgeschwindigkeit von Zink über 5 Jahre

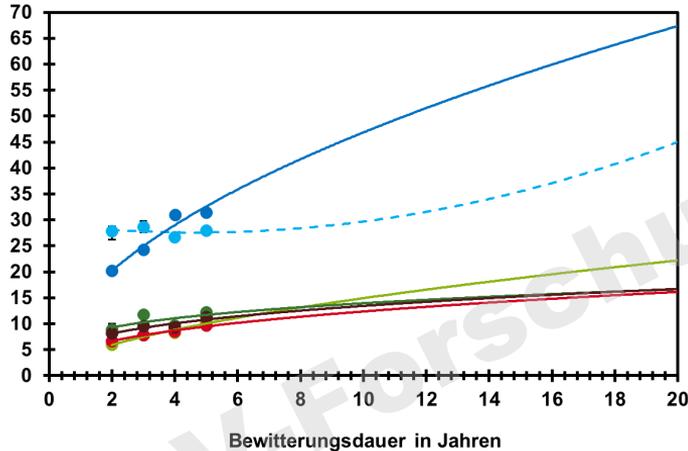
# Wie lange kann eine Zinkschicht schützen?

- ländlich (Horstwalde, Brandenburg)
- Stadt (BAM-Dach)
- Straßennähe (Bundesstraße B1, Berlin)
- Straßennähe (Autobahn A103, Berlin)
- maritim (Helgoland)

Die Nutzungsdauerprognose  $Nd_{pr}$  berücksichtigt den Masseverlust für die Deckschichtbildung aus dem ersten Jahr

Prognose (pr) - Normative Betrachtung (9224)

| Standort                         | $T = 20 a_{pr}$        | $T = 20 a_{9224}$    | $Nd_{pr}$ | $Nd_{9224}$ |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|-----------|-------------|
| Ländlich                         | C2 20 g/m <sup>2</sup> | 57 g/m <sup>2</sup>  | 609 a     | 214 a       |
| Stadt (Dach)                     | C3 16 g/m <sup>2</sup> | 171 g/m <sup>2</sup> | 759 a     | 72 a        |
| Bundesstraße                     | C2 16 g/m <sup>2</sup> | 57 g/m <sup>2</sup>  | 761 a     | 214 a       |
| Autobahn                         | C2 16 g/m <sup>2</sup> | 57 g/m <sup>2</sup>  | 759 a     | 214 a       |
| maritim                          | C4 42 g/m <sup>2</sup> | 343 g/m <sup>2</sup> | 281 a     | 35 a        |
| maritim <small>einghaust</small> | C2 66 g/m <sup>2</sup> | /                    | 185 a     | /           |



Zeitraum der Deckschichtbildung nicht betrachtet (1. Jahr)

Zinkschichtdicke 85µm (612 g/m<sup>2</sup>)

# Was sich ändert...

## Analytik mittels XRD

## Deckschichten nach 4 Jahren

|                                                                         | Horstwalde | BAM-Dach | B1  | A103 | Helgoland |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----|------|-----------|
| Hydrozinkit<br>$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$                                     | -          | +        | -   | o    | o         |
| Zinkhydroxycarbonat<br>$Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$                      | +++        | +++      | +++ | ++   | +++       |
| Simonkolleit<br>$Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$                             | -          | o        | o   | o    | (+)       |
| Zinksulfathydroxid<br>$Zn_4SO_4(OH)_6 \cdot 5H_2O$                      | -          | -        | o   | -    | +         |
| Zinkchloridsulfathydroxid<br>$Zn_{12}(OH)_{15}Cl_3(SO_4)_3 \cdot 5H_2O$ | -          | -        | -   | -    | +         |
| Hydrozinkit<br>$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$                                     | (+)        | +        | o   | o    | o         |
| Zinkhydroxycarbonat<br>$Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$                      | +          | o        | o   | +    | +         |
| Simonkolleit<br>$Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$                             | o          | +++      | ++  | +++  | +++       |
| Zinksulfathydroxid<br>$Zn_4SO_4(OH)_6 \cdot 5H_2O$                      | ++         | ++       | +   | o    | ++        |
| Zinkchloridsulfathydroxid<br>$Zn_{12}(OH)_{15}Cl_3(SO_4)_3 \cdot 5H_2O$ | +          | ++       | +   | +++  | +++       |

frei bewittert

eingehaust



## Beprobung von 7 maritimen Standorten

- Wiederkehrende Beprobung mit Standardproben zur Ermittlung der Korrosivität einer Umgebung (DIN EN ISO 9223/9226)
- Auslagerung nichtrostender Stähle und korrosionsgeschützter Stähle (Überzüge, Beschichtungen) an ausgewählten Standorten
- Bereitstellung von aktuellen Daten für die Normungsarbeit, Dauerhaftigkeit

- Die Korrosivität der Atmosphäre entspricht für die untersuchten Standorte nicht mehr den normativen Prognosen
  - Gebildete Deckschichten sind infolge geringerer  $\text{SO}_2$ -Gehalte der Atmosphäre und daraus resultierender höherer pH-Werte des Regenwassers, dauerhafter
- Die maritime Exposition mit und ohne direkter Bewitterung unterscheidet sich hinsichtlich der Entwicklung der Korrosionsraten über die Zeit signifikant
  - Akkumulation korrosiver Medien ist bei freier Bewitterung durch Regenereignisse nicht gegeben
- Feuerverzinkte Bauteile können unter maritimer Exposition eine Nutzungsdauer  $> 50$  Jahre erreichen

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**